第5章 水晶発振器の選び方・使い方

回路とのマッチングが必要ない水晶発振器

岡 学

水晶発振回路は，システム全体の動作基準となるクロック源となるので，細心の注意を払いながら設計しなくてはならない．前章までに説明してきたように，回路定数の最適値を決めるのは面倒だという現実もある．そういった場合に，水晶振動子と帰還増幅器を一つのパッケージに入れた水晶発振器が用意されている．ここでは、水晶発振器の選び方と使い方に絞って解説する．（編集部）

こんな場合には水晶発振器が最適

第2章～第4章で水晶振動子の構造や製造工程，回路とのマッチング評価について説明してきました．水晶振動子について理解が深まったと思います．たった二つの端子しかない部品なのに使いこなすのは意外に難しい…と感じた方も多いのではないでしょうか．

水晶振動子が生み出す安定した発振信号は，ディジタル回路のクロック源としてシステム全体の動作の基準となるものです．従って，水晶振動子に適した発振回路の設計が良くないと，安定したシステム動作は望めません（**図1**）．

水晶振動子と発振回路のマッチングが上手くいかないと，「発振しない」，「周波数がずれてしまう」，「電源電圧で周波数が大きく変化する（電圧を下げたら止まってしまった…）」，「温度が変わったら止まってしまった」，「周波数が不安定」などの問題が発生します．水晶振動子と発振回路のマッチングは水晶振動子メーカで評価してもらえます．しかし，これはある程度の数量を前提とした量産の場合であり，試作製作などの場合は，設計者自らがアナログ回路である発振回路を評価し，発振余裕度，励振レベル，負荷容量などを勘案しながら，回路定数を決める必要があります．

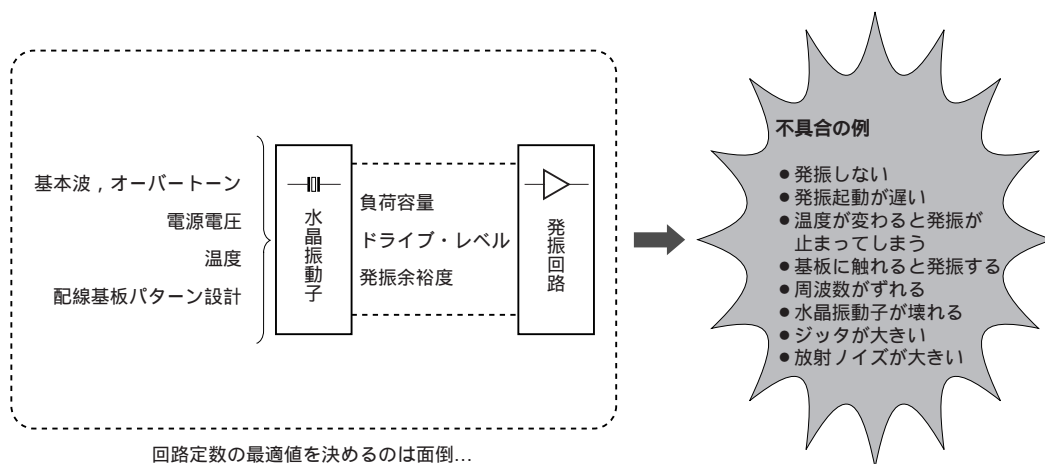



図1　設計ノウハウが必要な水晶発振回路

KeyWord 発振回路の設計，マッチング，発振余裕度，励振レベル，負荷容量，マッチング評価，水晶発振器，スタンバイ機能，プログラマブル発振器，スペクトラム拡散機能付き水晶発振器，EMI対策，SAW発振器，多出力発振器

表1　水晶発振器の分類と市場分野

種　類	概　要	主な市場分野
パッケージ水晶発振器（SPXO）	温度制御や温度補償をしていない一般的な水晶発振器．周波数温度特性はほぼ水晶振動子に依存する．周波数安定度は±50～±100×10^{-6}程度	有線通信機器，無線通信機，産業機器（OA・情報端末，医療，カー・エレクトロニクス），民生用電子機器（映像，音響など）
電圧制御水晶発振器（VCXO）	外部からの制御電圧により，出力周波数を可変または変調できる水晶発振器	受信装置など
温度補償水晶発振器（TCXO）	温度補償回路を付加して，周囲温度の変化による周波数変化が少なくなるようにした水晶発振器．周波数安定度は±0.5～±2.5×10^{-6}程度	無線通信機（携帯電話など）
恒温槽付き水晶発振器（OCXO）	恒温槽によって水晶振動子の温度を一定に保ち，周囲温度の変化による出力周波数の変化量を最も少なくなるようにした水晶発振器．周波数安定度は±1×10^{-7}～5×10^{-10}程度	携帯電話基地局など

SPXO：simple packaged crystal oscillator
VCXO：voltage controlled crystal oscillator
TCXO：temperature compensated crystal oscillator
OCXO：oven controlled crystal oscillator

SMD（surface mount device）タイプの小型水晶振動子はCI（crystal impedance）値が大きくなる傾向があり，電子機器の電源が低電圧化する中，安定した水晶発振回路を設計するのは難しくなってきています．

早く安定した周波数が欲しい，マッチング評価は面倒…といった場合には，水晶デバイス・メーカ各社から発売されている水晶発振器（水晶発振モジュール）を活用することをお勧めします．これは水晶振動子と，これを動作させる帰還増幅器を一つのパッケージに入れたものです．一般的に水晶振動子よりも割高ですが，発振回路と振動子のマッチングを気にすることなく，欲しい周波数を安定的に得られるというメリットがあります．

この水晶発振器は，周波数は数kHzから数百MHzまで，またサイズ，周波数精度，電源電圧などのバリエーションも豊富なので，ニーズに合った発振器を探すことができます．

水晶発振器の種類と技術動向

表1は一般的な水晶発振器の分類および種類を示したものです．**表1**のように水晶発振器は精度や機能により，SPXO，VCXO，TCXO，OCXOに大きく分類されます．

これらの水晶発振器はそれぞれモジュール化されており，用途やニーズによりさまざまな仕様がありますが，コンピュータやOA，情報端末機器に使用されるクロック用発振器としては，パッケージ水晶発振器（SPXO）が使用されることが多いでしょう．

写真1は小型・薄型で自動実装可能なSMDタイプの水晶発振器です．**図2**はこの水晶発振器の内部構造図，**図3**は外形図です．

写真1 表面実装タイプのSPXOの外観
エプソントヨコムのSG-310シリーズ．

この水晶発振器はセラミック積層パッケージにICチップと水晶振動子を実装した後，金属の蓋（リッド）を溶接し密封したものです．外形寸法は3.2mm×2.5mm×1.05mm（標準）と非常に小型です．また，スタンバイ機能（制御端子により内部回路動作と発振出力を停止することができる）があり，出力はCMOSやTTLを直接駆動できる方形波です．なお，さらに小型で，外形寸法が2.5mm×2.0mm×0.8mm（標準）のものもあります．

最近の水晶発振器の中には，ユーザの要求に合わせたさまざまな特徴を持つものが作られています．これらは，周波数範囲や周波数精度，納期などのニーズに対応するため，性能向上や機能を付加したものであり，**表2**に示すように周波数をプログラム可能なものやEMI（electro-magnetic interference）対策品などがあります．

● プログラマブル発振器

水晶振動子は一般的に設計・試作に時間がかかり，特殊な周波数などは入手に数カ月必要であったり，入手できな

表2　ユーザのニーズに合わせた機能を持つ水晶発振器

種　類	概　要
プログラマブル発振器	PLL回路により周波数を設定できる．比較的短納期で所要の周波数が入手できる
スペクトラム拡散機能付き水晶発振器（低EMI発振器）	EMI対策向け．発振周波数を拡散させEMIレベルを低下させることができる
SAW発振器	高周波の出力が可能で，低ジッタ注．高速インターフェース機器などに使用される
多出力発振器	複数の周波数を出力できる．外部端子で周波数選択が可能なものもある

注：信号のパルス波形の位相が本来の位置から前後に揺らぐ現象．代表的な指標はピーク・ツー・ピーク・ジッタで，これは数万周期を目安として最短周期と最長周期の時間差を表したもの

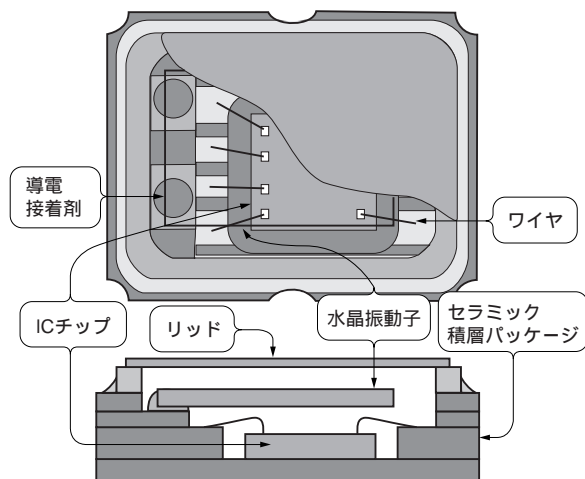



図2　表面実装タイプのSPXOの内部構造
エプソントヨコムのSG-310シリーズの構造を示す．

図3　SG-310シリーズの外形図（エプソントヨコム）

いことがあります．

このプログラマブル発振器は，内蔵したPLL（phase-locked loop）回路の設定で必要とする周波数を作り出すことができるため，比較的短納期で入手できます．ただし，回路構成上，低ジッタを要求するデータ通信機器などのクロックとしては使えない場合があります．

● スペクトラム拡散機能付き水晶発振器

最近の電子機器は，動作時に放出される電磁波が起こすEMIを低減することが要求されます．このEMIを低減するには回路や基板設計をやり直すか，基板からの電磁波放射を防ぐシールドや吸収材による対処療法でしのぐかの選択になるケースが一般的です．しかし，これらの手法は時間がかかる上に，必ずしも有効とは限りません．このようなEMI対策に有効な水晶発振器として，スペクトラム拡散機能付き水晶発振器があります（**表3**）．

この発振器を使用するとEMIレベルを低下させることができるため，簡単で有効な対策になる場合があります．また，プログラマブル発振器同様に短納期で入手できる上，さらに拡散率も変更できることから，量産対応だけでなく試作時のEMI評価にも適しています．

● SAW発振器

SAW（surface acoustic wave）発振器は，SAW共振子を使用した発振器であり，高周波を直接発振させることができます．一般的なAT振動子で高周波に対応する場合，水晶振動子の厚さが薄くなり加工が難しくなりますが，SAW共振子は厚さではなく表面に形成された電極間隔で周波数が決定されるため，フォト・リソグラフィ加工により容易に高周波に対応できます．

また，オーバトーン回路や逓倍回路などを必要としないため，低ジッタで安定な高周波を得ることができます．

COLUMN AT水晶振動子以外のQMEMSの応用製品

本文で取り上げた以外のQMEMS水晶製品を紹介します．

● 音さ型水晶振動子

音さ型水晶振動子のチップを小型化すると，CI値（水晶の振動損失の目安）が大きくなり，良好な発振特性を得にくいという小型化の限界がありました．

そこで，電極面積ができる限り大きく取れるよう，フォトリソ加工工程で振動アーム部に溝を掘り込み，3D立体加工を施した音叉型水晶振動子を**図G**に示します．小型化を達成しながらCI値の低減を実現しています．

● HFF（high frequency fundamental）型水晶振動子

振動子の周波数を高くするには，チップの板厚を薄くする必要がありますが，従来の加工方法では薄く加工することに限界がありました．

そこで，フォトリソ加工により，励振電極付近のみを薄くすることで（逆メサ構造），強度を保ちながら，この限界を克服し，100MHz以上の高周波帯での基本波発振を実現しています（**図H**）．

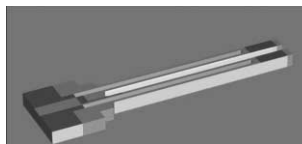
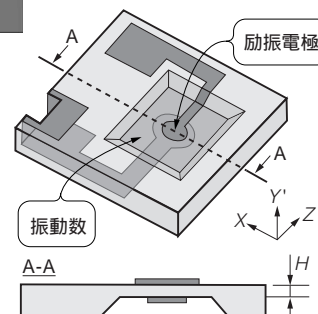
＜宮澤輝久＞

図G　3D立体加工を施した音さ型水晶振動子振動片

図H　励振電極付近のみを薄くしたHFF水晶振動子

表3　特徴のある機能を持った水晶発振器の例（エプソントヨコム）

項　目	SG-310N	SG-8002CE	SG-9001CA	XG-1000CB	EG-2102CA	MG-5100SA	SG-3030LC
出力周波数範囲［MHz］	2～48	1～125	10～166	50～170	100～700	0.0769～100	32.768［kHz］
電源電圧［V］	1.8，2.5，3.3	3.0，3.3，5.0	3.3	1.8，2.5，3.3	3.3	3.3，5.0	1.5～5.5
保存温度範囲［℃］	－40～＋125	－40～＋125	－40～＋125	－40～＋100	－40～＋100	－55～＋100	－55～＋125
動作温度範囲［℃］	－40～＋85	－40～＋85	－20～＋70	－10～＋70	－5～＋85	－20～＋70	－40～＋85
周波数許容偏差［$\times 10^{-6}$］	±50，±100	±50，±100	－	±50，±100	±50，±100	±100	5±23 注1
消費電流［mA］（最大）	4.5	40	30	35	100	100	2.0［μA］
波形シンメトリ［%］	45～55	40～60	45～55	40～60	45～55	40～60	45～55
出力負荷(CMOS)［pF］（最大）	15	15	15	15	（LV-PECL）	25	15
外形サイズ［mm］（標準）	3.2×2.5×1.05	3.2×2.5×1.05	7.0×5.0×1.4	5.0×3.2×1.1	7.0×5.0×1.2	10.1×7.4×3.2	3.6×2.8×1.1
特　徴	低ジッタ，小型	プログラマブル，小型，短納期	スペクトラム拡散機能付き	高周波，低ジッタ（SAW共振子）		多出力6出力タイプ	低周波，低消費電力

注1：温度特性は含まず

この高周波かつ低ジッタ特性は，データ通信機器などのクロックとして最適であり，CMOS出力のほかに，700MHzまでの高周波に対応した差動出力（LVPECLおよびLVDS）の製品もあります．

● 多出力発振器

多出力発振器は，一つのパッケージでkHz帯から100MHz程度まで広帯域かつ複数の周波数を出力できる発振器です．同時に複数のクロックを必要とする機器に使用され，機器の小型化に有効です．外部の制御端子により出力周波数を選択することができるものもあります．

参考・引用*文献

(1) 水晶デバイスの解説と応用，日本水晶デバイス工業会，2002年3月．

おか・まなぶ
エプソントヨコム（株）　開発技術統括部設計部課長

＜筆者プロフィール＞

岡　学． 1991年入社．主として水晶発振器の開発・設計に従事．